



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pengertian Pemutus Tenaga (PMT)

Berdasarkan *IEV (International Electrotechnical Vocabulary)* 441-14-20 disebutkan bahwa *Circuit Breaker (CB)* atau Pemutus Tenaga (PMT) merupakan peralatan saklar/*switching* mekanis, yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal serta mampu menutup, mengalirkan (dalam periode waktu tertentu) dan memutus arus beban dalam kondisi abnormal/gangguan seperti kondisi hubung singkat (*short circuit*).<sup>1</sup>

Sedangkan definisi PMT berdasarkan IEEE C37.100:1992 (Standard definitions for power switchgear) merupakan peralatan saklar/*switching* mekanis yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal sesuai dengan ratingnya serta mampu menutup, mengalirkan (dalam periode waktu tertentu) dan memutus arus beban dalam spesifik kondisi abnormal/gangguan sesuai dengan ratingnya.<sup>2</sup>

Dapat disimpulkan bahwa Pemutus Tenaga (PMT) adalah sebuah saklar pada gardu induk yang berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan arus beban atau arus gangguan dalam keadaan berbeban yang memiliki pemadam busur api seperti gas SF<sub>6</sub>, minyak, vacuum dan udara.

Fungsi utamanya adalah sebagai alat pembuka atau penutup suatu rangkaian listrik dalam kondisi berbeban, serta mampu membuka atau menutup saat terjadi arus gangguan (hubung singkat) pada jaringan atau peralatan lain.

---

<sup>1</sup> PT. PLN (Persero). 1987. *Standarisasi Peralatan Uji*. Perusahaan Umum Listrik Negara: Jakarta. Hlm. 1

<sup>2</sup> IEEE C37.10-1995, *Guide for diagnostic and failure investigation of power circuit breaker*, 1995.

## 2.2 Klasifikasi PMT Berdasarkan Besar / Kelas Tegangan

PMT dapat dibedakan menjadi empat, yaitu:

### 1. PMT tegangan rendah (*low voltage*)

Untuk jenis PMT tegangan rendah, kita tentunya sering menemukan jenis ini pada panel pembagi beban (Besaran yang efektif berkisar 15 A s/d 1500 A dengan range tegangan 0.1 s/d 1 kV) (*SPLN 1.1995 – 3.3*). Yang harus diperhatikan dalam jenis PMT ini adalah tegangan efektif yang tertinggi dan frekuensi daya jaringan dimana pemutus daya itu akan dipasang. Nilainya tergantung pada jenis pentanahan titik netral sistem. Juga arus maksimum kontinyu yang akan dialirkan melalui pemutus daya dan nilai arus ini tergantung pada arus maksimum sumber daya atau arus nominal beban dimana pemutus daya tersebut terpasang.

### 2. PMT tegangan menengah (*medium voltage*)

PMT tegangan menengah ini biasanya dipasang pada gardu induk, kabel masuk ke busbar tegangan (*incoming cubicle*) maupun pada setiap rel/busbar keluar (*out going cubicle*) yang menuju penyulang keluar dari gardu induk. PMT ini mempunyai range tegangan 1 s/d 35 kV (*SPLN 1.1995 – 3.4*).

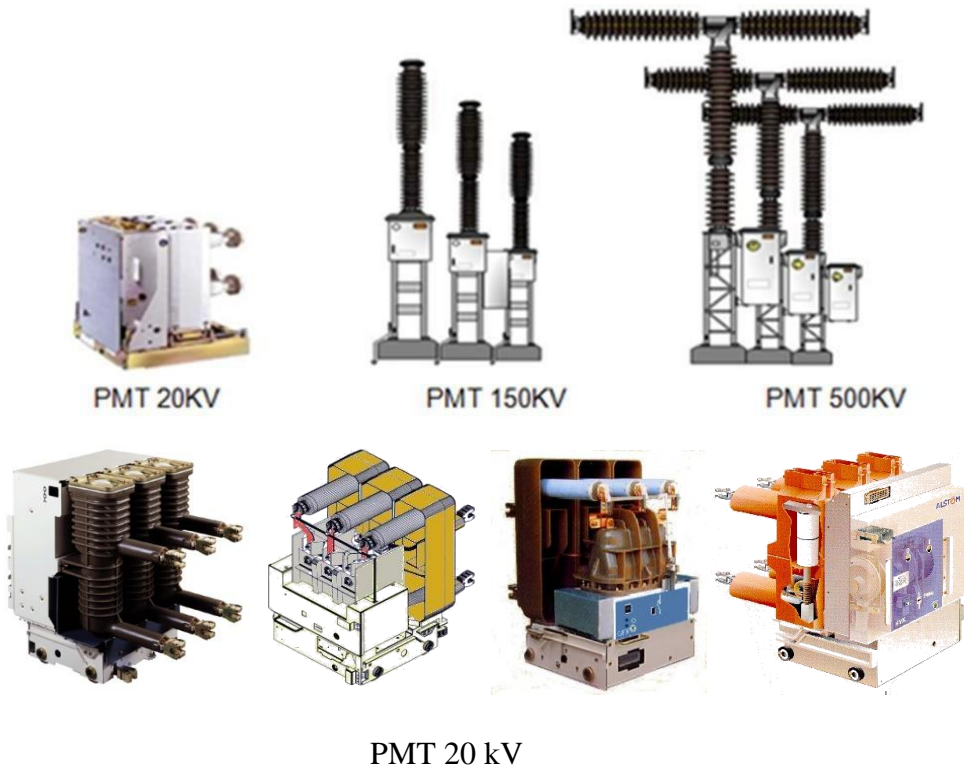
### 3. PMT tegangan tinggi (*high voltage*)

Dengan range tegangan 35 s/d 245 kV. Klasifikasi PMT untuk tegangan tinggi berdasarkan media insulator dan material dielektriknya, terbagi menjadi empat jenis, yaitu:

- a. Sakelar PMT minyak: sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 10 kA dan pada rangkaian bertegangan sampai 500 kV.
- b. Sakelar PMT Udara Hembus (*Air Blast Circuit Breaker*): sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 40 kA dan pada rangkaian bertegangan sampai 765 kV.
- c. Sakelar PMT vakum (*Vacuum acircuit bareaker*): Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus rangkaian bertegangan sampai 38 kV.

- d. Sakelar PMT Gas SF6 (*SF6 Circuit Breaker*): sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 40 kA dan pada rangkaian bertegangan sampai 765 kV (*SPLN 1.1995 – 3.5*)
4. PMT tegangan extra tinggi (*Extra High Voltage*)

Dengan range tegangan lebih dari 245 kV (*SPLN 1.1995 – 3.6*). PMT jenis ini biasanya dipasang di GITET (Gardu Induk Ekstra Tinggi) yang sudah memiliki bermacam – macam peralatan cagih. Salah satunya *Gas Circuit Breaker* (GCB). GCB sendiri merupakan pemutus tenaga yang menggunakan gas SF6 sebagai bahan pemadam busur api.



Gambar 2.1 Macam – Macam PMT

### 2.3 Klasifikasi PMT Berdasarkan Jumlah Mekanik Penggerak <sup>3</sup>

PMT dapat dibedakan menjadi 2, yaitu:

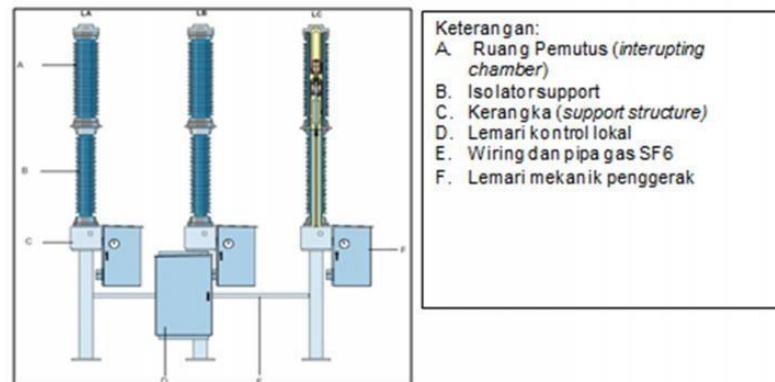
1. PMT Single pole, dan
2. PMT Three pole.

---

<sup>3</sup> *Ibid*, Hlm. 2

### 2.3.1 PMT Single Pole<sup>4</sup>

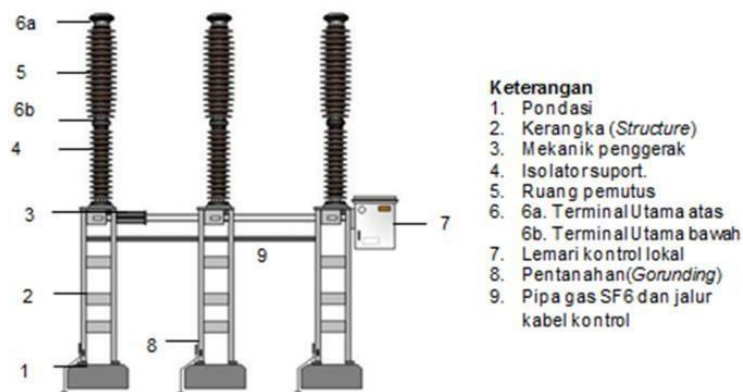
PMT single pole (Gambar 2.2) ini mempunyai mekanik penggerak pada masing – masing pole, umumnya PMT jenis ini dipasang pada bay penghantar agar PMT bisa reclose satu fasa.



Gambar 2.2 PMT Single Pole

### 2.3.2 PMT Three Pole<sup>5</sup>

PMT three pole (Gambar 2.3) mempunyai satu mekanik penggerak untuk tiga fasa, guna menghubungkan fasa satu dengan fasa lainnya dilengkapi dengan kope; mekanik, umumnya PMT ini dipasang pada bay trafo dan bay kopel serta PMT 20kV untuk distribusi.



Gambar 2.3 PMT Three Pole

<sup>4</sup> Ibid, Hlm. 2

<sup>5</sup> Ibid, Hlm. 3

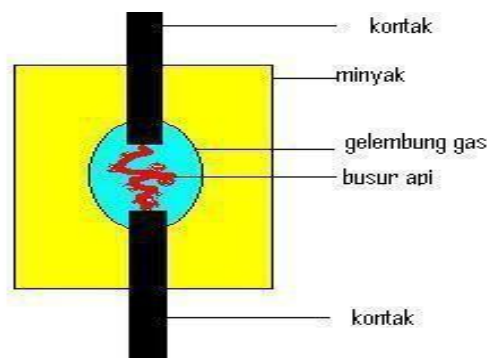
## 2.4 Klasifikasi PMT Berdasarkan Media Isolasi <sup>6</sup>

PMT memiliki beberapa media isolasi yaitu:

1. Pemutus Tenaga (PMT) Media minyak
2. Pemutus Tenaga (PMT) Media Udara Hembus (*Air Blast Circuit Breaker*)
3. Pemutus Tenaga (PMT) Media Vakum (*Vacuum Circuit Breaker*)
4. Pemutus Tenaga (PMT) Media Gas SF<sub>6</sub> (*SF<sub>6</sub> Circuit Breaker*)

### 2.4.1 Pemutus Tenaga (PMT) Media Minyak<sup>7</sup>

Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 10 kA dan pada rangkaian bertegangan sampai 500 kV. Pada saat kontak dipisahkan, busur api akan terjadi didalam minyak, sehingga minyak menguap dan menimbulkan gelembung gas yang menyelubungi busur api, karena panas yang ditimbulkan busur api, minyak mengalami dekomposisi dan menghasilkan gas hydrogen yang bersifat menghambat produksi pasangan ion. Oleh karena itu, pemadaman busur api tergantung pada pemanjangan dan pendinginan busur api dan juga tergantung pada jenis gas hasil dekomposisi minyak seperti pada gambar 2.4



Gambar 2.4 Pemadam Busur Api Pada PMT Minyak

Gas yang timbul karena dekomposisi minyak menimbulkan tekanan terhadap minyak, sehingga minyak terdorong kebawah melalui leher bilik. Di leher bilik, minyak ini melakukan kontak yang intim dengan busur api. Hal ini

<sup>6</sup> *Ibid*, Hlm. 3

<sup>7</sup> *Ibid*.

akan menimbulkan pendinginan busur api, mendorong proses rekombinasi dan menjauhkan partikel bermuatan dari lintasan busur api. Minyak yang berada diantara kontak sangat efektif memutuskan arus. Kelemahannya adalah minyak mudah terbakar dan kekentalan minyak memperlambat pemisahan kontak, sehingga tidak cocok untuk sistem yang membutuhkan pemutusan arus yang cepat.



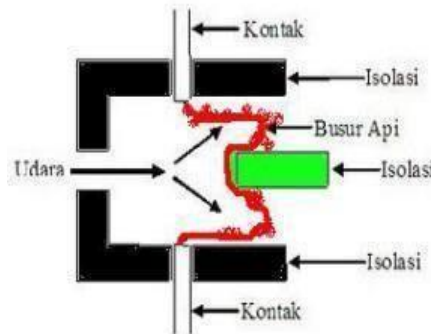
Gambar 2.5 Oil Circuit Breaker

Sakelar PMT minyak terbagi menjadi dua jenis, yaitu:

1. Sakelar PMT dengan banyak menggunakan minyak (Bulk Oil Circuit Breaker), pada tipe ini minyak berfungsi sebagai peredam loncatan bunga api listrik selama terjadi pemutusan kontak dan sebagai isolator antara bagian-bagian yang bertegangan dengan badan, jenis PMT ini juga ada yang dilengkapi dengan alat pembatas busur api listrik.
2. Sakelar PMT dengan sedikit menggunakan minyak (Low oil Content Circuit Breaker), pada tipe ini minyak hanya dipergunakan sebagai peredam loncatan bunga api listrik, sedangkan sebagai bahan isolator dari bagian-bagian yang bertegangan digunakan porselen atau material isolasi dari jenis organik.

### 2.4.2 PMT Media Udara Hembus (*Air Blast Circuit Breaker*)<sup>8</sup>

Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 40 kA dan pada rangkaian bertegangan sampai 765 kV. PMT udara hembus (Gambar 2.6) dirancang untuk mengatasi kelemahan pada PMT minyak, yaitu dengan membuat isolator kontak dari bahan yang tidak mudah terbakar dan tidak menghalangi pemisah kontak, sehingga pemisahan kontak dapat dilaksanakan dalam waktu yang sangat cepat. Saat busur api timbul, udara tekanan tinggi dihembuskan ke busur api yang dipadamkan oleh hembusan udara tekanan tinggi itu dan juga menyingkirkan partikel – partikel bermuatan dari sela kontak, udara ini juga berfungsi untuk mencegah restriking voltage (tegangan pukul ulang).



Gambar 2.6 Pemadam Busur Api pada PMT *Air Blast*

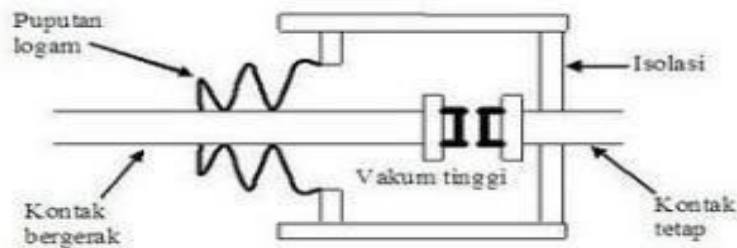
### 2.4.3 PMT Media Vakum (*Vacuum Circuit Breaker*)<sup>9</sup>

Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus rangkaian bertegangan sampai 38 kV. Pada PMT vakum (Gambar 2.7), kontak ditempatkan pada suatu bilik vakum. Untuk mencegah udara masuk ke dalam bilik, maka bilik ini harus ditutup rapat dan kontak Bergeraknya diikat ketat dengan perapat logam.

<sup>8</sup> Snigdha, S. 2012, *How To Maintain Air Blast Circuit Breaker*, International Journal of Scientific Research Engineering and Technology, ISSN 2278-0882

<sup>9</sup> PT. PLN (Persero). 1987. *Standarisasi Peralatan Uji*. Perusahaan Umum Listrik Negara: Jakarta. Hlm. 10





Gambar 2.7 Proses Pemadaman Busur Api Media Vakum

Jika kontak dibuka, maka pada katoda kontak jadi emisithermis dan medan tegangan yang tinggi yang memproduksi elektron – elektron bebas. Elektron hasil emisi ini beregerak menuju anoda, elektron – elektron bebas ini tidak bertemu dengan molekul udara sehingga tidak terjadi prosesionasi. Akibatnya, tidak ada penambahan elektron bebas yang mewakili pembentukan busur api. Dengan kata lain, busur api dapat dipadamkan. Gambar 3.8 adalah *vacuum circuit breaker*.

Gambar 2.8 *Vacuum Circuit Breaker*

#### 2.4.4 PMT Media Gas SF<sub>6</sub> (SF<sub>6</sub> Circuit Breaker)<sup>10</sup>

Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 40 kA dan pada rangkaian bertegangan sampai 765 kV. Media gas yang digunakan pada tipe ini adalah SF<sub>6</sub> (*Sulphur Hexafluoride*) (Gambar 2.9). Sifat gas SF<sub>6</sub> adalah tidak berwarna, tidak berbau, tidak beracun dan tidak mudah terbakar. Pada suhu diatas

<sup>10</sup> PT. PLN (Persero). 1987. *Standarisasi Peralatan Uji*. Perusahaan Umum Listrik Negara: Jakarta. Hlm. 13



150°, gas SF<sub>6</sub> mempunyai sifat tidak merusak metal, plastik dan bermacam bahan yang umumnya digunakan dalam pemutus tenaga tegangan tinggi.

Sebagai isolasi listrik, gas SF<sub>6</sub> mempunyai kekuatan dielektrik yang bertambah dengan pertambahan tekanan. Sifat lain dari gas SF<sub>6</sub> ialah mampu mengembalikan kekuatan dielektriknya dengan cepat, tidak terjadi karbon selama terjadi busur api dan tidak menimbulkan bunyi pada saat pemutus tenaga menutup dan membuka. Gambar 3.9 adalah SF<sub>6</sub> circuit breaker yang ada pada gardu induk.

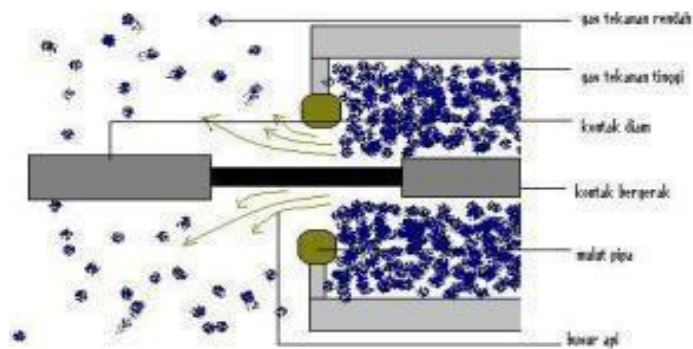


Gambar 2.9 SF<sub>6</sub> *Circuit Breaker*



Gambar 2.10 PMT 20kV Media Pemadam Busur Api SF<sub>6</sub>

Pengisian gas SF<sub>6</sub> akan menjadi dingin jika keluar dari tangki penyimpanan dan akan panas kembali jika dipompakan untuk pengisian ke dalam bagian/ ruang pemutus tenaga. Oleh karena itu gas SF<sub>6</sub> perlu diadakan pengaturan tekanannya beberapa jam setelah pengisian, pada saat gas SF<sub>6</sub> pada suhu lingkungan. Gambar 2.11 adalah proses pemadaman busur api pada SF<sub>6</sub>.



Gambar 2.11 Proses Pemadaman Busur Api pada SF<sub>6</sub>

Sakelar PMT SF<sub>6</sub> terdiri dari dua tipe, yaitu:

1. PMT Tipe Tekanan Tunggal (*Single Pressure Type*), PMT SF<sub>6</sub> tipe ini diisi dengan gas SF<sub>6</sub> dengan tekanan kira – kira 5 kg/cm<sup>2</sup>. Selama pemisahan kontak – kontak, gas SF<sub>6</sub> ditekan kedalam suatu tabung yang menempel pada kontak bergerak. Pada waktu pemutusan kontak terjadi, gas SF<sub>6</sub> ditekan melalui nozzle dan tiupan ini yang mematikan busur api.
2. PMT Tipe Tekanan Ganda (*Double Pressure Type*), dimana pada saat ini sudah tidak diproduksi lagi. Pada tipe ini, gas dari sistem tekanan tinggi dialirkan melalui nozzle ke gas sistem tekanan rendah selama pemutusan busur api. Pada sistem gas tekanan tinggi, tekanan gas SF<sub>6</sub> kurang lebih 12 kg/cm<sup>2</sup> dan pada sistem gas tekanan rendah, tekanan gas SF<sub>6</sub> kurang lebih 2 kg/cm<sup>2</sup>. Gas pada sistem tekanan rendah kemudian dipompakan kembali ke sistem tekanan tinggi.



Keunggulan PMT Gas SF<sub>6</sub> dapat dilihat dari keuntungan sifat – sifat dari gas SF<sub>6</sub> sebagai yang dibandingkan dengan PMT jenis lain untuk mengamankan Gardu Induk dan jaringan, yaitu:

1. Hanya memerlukan energi yang rendah untuk mengoperasikan mekanismenya. Pada prinsipnya, SF<sub>6</sub> sebagai pemadam busur api tanpa memerlukan energi untuk mengkompresikannya, namun semata – mata karena pengaruh panas busur api yang terjadi.
2. Tekanan SF<sub>6</sub> sebagai pemadam busur api maupun sebagai pengisolasi dapat dengan mudah dideteksi.
3. Penguraian pada waktu memadamkan busur api maupun pembentukannya kembali setelah pemadaman adalah menyeluruh.
4. Mampu mengembalikan kekuatan dielektrik dengan cepat, setelah arus busur api listrik melalui titik nol.
5. Relatif mudah terionisasi sehingga plasmanya pada PMT konduktivitas tetap rendah dibandingkan pada keadaan dingin. Hal ini mengurangi kemungkinan busur api tidak stabil dengan demikian ada pemotongan arus dan menimbulkan tegangan antar kontak.
6. Karakteristik gas SF<sub>6</sub> adalah elektro negatif sehingga penguraiannya menjadikan dielektriknya naik secara bertahap.
7. Transien frekuensi yang tinggi naik selama operasi pemutusan dan dengan adanya hal ini busur api akan dipadamkan pada saat nilai arusnya rendah.

## **2.5 Proses Terjadinya Busur Api**

Pada waktu pemutusan atau penghubungan suatu rangkaian sistem tenaga listrik, maka pada PMT akan terjadi busur api, hal tersebut terjadi karena saat kontak PMT dipisahkan, beda potensial diantara kontak akan menimbulkan medan elektrik diantara kontak tersebut.

Arus yang sebelumnya mengalir pada kontak akan memanaskan kontak dan menghasilkan emisi termis pada permukaan kontak. Sedangkan medan elektrik menimbulkan emisi medan tinggi pada kontak katoda (K). Kedua emisi

ini menghasilkan elektron bebas yang sangat banyak dan bergerak menuju kontak anoda (A). Elektron – elektron ini membentur molekul netral media isolasi dikawasan positif, benturan – benturan ini akan menimbulkan proses ionisasi.

Dengan demikian, jumlah elektron bebas yang menuju anoda akan semakin bertambah dan muncul ion positif hasil ionisasi yang bergerak menuju katoda, perpindahan elektron bebas ke anoda menimbulkan arus dan memanaskan kontak anoda. Ion positif yang tiba dikontak katoda akan menimbulkan dua efek yang berbeda. Jika kontak terbuat dari bahan yang titik leburnya tinggi, misalnya tungsten atau karbon, maka ion positif akan menimbulkan pemanasan di katoda.

Akibatnya, emisi thermis semakin meningkat. Jika kontak terbuat dari bahan yang titik leburnya rendah, misal tembaga, ion positif akan menimbulkan emisi medan tinggi. Hasil emisi thermos ini dan emisi medan tinggi akan melanggengkan proses ionisasi, sehingga perpindahan muatan antar kontak terus berlangsung dan inilah yang disebut busur api.

Untuk memadamkan busur api tersebut perlu dilakukan usaha yang dapat menimbulkan proses deionisasi, antara lain dengan cara sebagai berikut:

1. Meniupkan udara ke sela kontak, sehingga partikel – partikel hasil ionisasi dijauhkan dari sela kontak.
2. Menyemburkan minyak isolasi ke busur api untuk memberi peluang yang lebih besar bagi proses rekombinasi.
3. Memotong busur api dengan tabir isolasi atau tabir logam, sehingga memberi peluang yang lebih besar bagi proses rekombinasi.
4. Membuat medium pemisah kontak dari gas elektro negatif, sehingga elektron – elektron bebas tertangkap oleh molekul netral gas tersebut.

Jika penguraian partikel bermuatan karena proses deionisasi lebih banyak dari pada penambahan muatan karena proses ionisasi, maka busur api akan padam. Ketika busur api padam, disela kontak akan tetap ada terpaan medan elektrik. Jika suatu saat terjadi terpaan medan elektrik yang lebih besar dari pada kekuatan dielektrik media isolasi kontak, maka busur api akan terjadi lagi.



## 2.6 Komponen dan Fungsi PMT<sup>11</sup>

Sistem Pemutus Tenaga (PMT) terdiri dari beberapa sub-sistem yang memiliki beberapa komponen. Pembagian komponen dan fungsi dilakukan berdasarkan *Failure Modes Effects Analysis (FMEA)* sebagai berikut:

1. *Primary*
2. *Dielectric*
3. *Driving Mechanism*
4. *Secondary*

### 2.6.1 *Primary*

Merupakan bagian PMT yang bersifat konduktif dan berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dengan nilai losses yang rendah dan mampu menghubungkan / memutuskan arus beban saat kondisi normal/tidak normal. Adapun beberapa bagian komponen *primary* adalah:

1. *Interrupter*

Merupakan bagian terjadinya proses membuka atau menutup kontak PMT. Didalamnya terdapat beberapa jenis kontak yang berkenaan langsung dalam proses penutupan atau pemutusan arus, yaitu:

- Kontakbergerak/*moving contact*
- Kontak tetap/*fixed contact*
- Kontak arching/*arching contact*

2. Terminal Utama

Bagian dari PMT yang merupakan titik sambungan/koneksi antara PMT dengan konduktor luar dan berfungsi untuk mengalirkan arus dari atau konduktor luar.

---

<sup>11</sup> PT. PLN (Persero). 1987. *Standarisasi Peralatan Uji*. Perusahaan Umum Listrik Negara: Jakarta. Hlm. 4



Gambar 2.12 Terminal Utama

### 2.6.2 *Dielectric* <sup>12</sup>

Berfungsi sebagai isolator peralatan dan memadamkan busur api dengan sempurna pada saat *moving contact* bekerja.

#### 1. Isolator Listrik (*Electrical Insulation*)

- Isolator Ruang Pemutus (*Interrupting Insulation*)  
Merupakan isolator yang berada pada ruang pemutus
- Isolator Penyangga (*Isolator Support*)  
Merupakan isolator pada penyangga/support

### 2.6.3 *Driving Mechanism* <sup>13</sup>

Berfungsi menyimpan energi untuk dapat menggerakkan kontak gerak (*moving contact*) PMT dalam waktu tertentu sesuai dengan spesifikasinya. Terdapat beberapa jenis sistem penggerak pada PMT, antara lain:

#### 1. Penggerak pegas (*Spring Drive*)

Mekanis penggerak PMT dengan menggunakan pegas (*spring*) terdiri dari dua macam, yaitu:

- Pegas pilin (*helical spring*)  
PMT jenis ini menggunakan pegas pilin sebagai sumber tenaga penggerak yang ditarik atau diregangkan oleh motor melalui rantai.

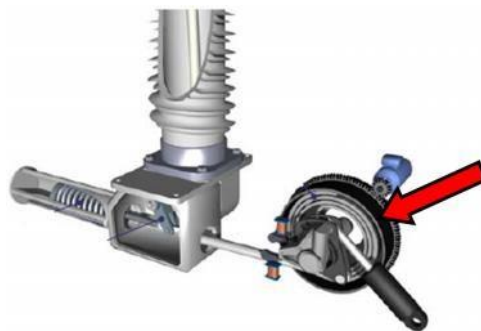
<sup>12</sup> PT. PLN (Persero). 1987. *Standarisasi Peralatan Uji*. Perusahaan Umum Listrik Negara: Jakarta. Hlm. 6

<sup>13</sup> *Ibid.* Hlm. 10

Gambar 2.13 Sistem Pegas Pilin (*Helical*)

- Pegas gulung (*scroll spring*)

PMT ini menggunakan pegas gulung untuk sumber tenaga penggerak yang diputar oleh motor melalui roda gigi.

Gambar 2.14 Sistem Pegas Gulung (*Scrool*)

#### 1. Penggerak Hidrolik

Penggerak mekanik PMT hidrolik adalah rangkaian gabungan dari beberapa komponen mekanik, elektrik dan hidrolik *oil* yang dirangkai sedemikian rupa sehingga dapat berfungsi sebagai penggerak untuk membuka dan menutup PMT.

#### 2. Penggerak *Pneumatic*

Penggerak mekanik PMT *pneumatic* adalah rangkaian gabungan dari beberapa komponen mekanik, elektrik dan udara bertekanan yang



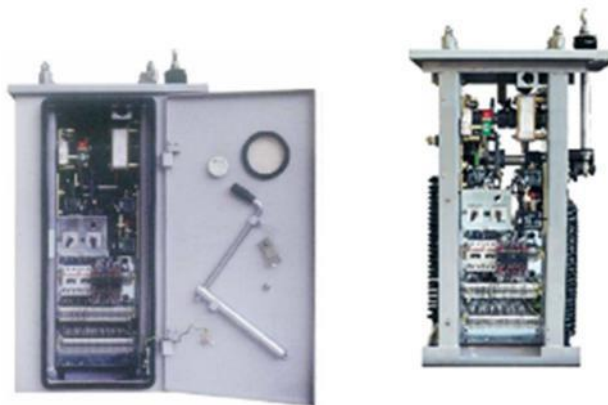
dirangkai sedemikian rupa sehingga dapat berfungsi sebagai penggerak untuk membuka dan menutup PMT.

## 2.7 *Secondary*<sup>14</sup>

Sub sistem *secondary* berfungsi mengirim sinyal kontrol/ trigger untuk mengaktifkan subsistem mekanik pada waktu yang tepat, bagian subsistem *secondary* terdiri dari:

### 1. Lemari Mekanik / Kontrol

Berfungsi untuk melindungi peralatan tegangan rendah dan sebagai tempat *secondary equipment*.



Gambar 2.15 Lemari Mekanik/Kontrol

### 2. Terminal dan *Wiring Control*

Sebagai terminal wiring control PMT serta memberikan *trigger* pada mekanik penggerak untuk operasi PMT.

## 2.8 **Pedoman Pemeliharaan**<sup>15</sup>

Berdasarkan fungsi dan kondisi peralatan baik bertegangan maupun tidak, jenis pemeliharaan pada Pemutus dapat dikelompokkan sebagai berikut:

---

<sup>14</sup> *Ibid*, Hlm. 15

<sup>15</sup> *Ibid*, Hlm. 17



1. *In Service / Visual Inspection*
2. *In Service Measurement / On Line Monitoring*
3. *Conditional* (Pasca relokasi / Pasca gangguan / Pasca Bencana)
4. *Overhaul*

## **2.9 Peraturan dan Ketentuan Pemeliharaan Pemutus Tenaga<sup>16</sup>**

Dalam proses pelaksanaan pemeliharaan pemutus tenaga, harus sesuai dengan peraturan dan ketentuan yang berlaku, sebagai pedoman dalam pelaksanaan kegiatan pemeliharaan tersebut. Berdasarkan FMEA / FMECA tahun 2008, PLN melaksanakan dan menganalisa terhadap efek modus gangguan yang terjadi pada komponen peralatan sehingga uraian kegiatan dalam review Buku Pemeliharaan Peralatan SE. 032 / PST / 1984 dan suplemennya mengalami perubahan, pemeliharaan PMT terdiri dari:

- a. Pemeliharaan Preventive (*Time Base Maintenance*)
- b. Pemeliharaan Prediktif (*Conditional Maintenance*)
- c. Pemeliharaan Korektif (*Corective Maintenance*)
- d. Pemeliharaan Darurat (*Breakdown Maintenance*)

Pemeriksaan dan pemeliharaan Pemutus Tenaga (PMT) biasanya sesuai dengan petunjuk pabrikannya, akan tetapi secara umum, meliputi:

- a. Pemeriksaan dan Pemeliharaan Harian
- b. Pemeriksaan dan Pemeliharaan Bulanan
- c. Pemeriksaan dan Pemeliharaan Tahunan
- d. Pemeriksaan dan Pemeliharaan Overhaul

## **2.10 Peraturan dan Ketentuan Pengujian Pemutus Tenaga**

Pada proses pengujian pemutus tenaga, terdapat tiga jenis pengujian, yaitu sebagai berikut:

---

<sup>16</sup> Arismunandar A, Kuwahara S. 1993. *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik Jilid II: Saluran Transmisi*. PT. Pradnya Paramitha: Jakarta



### 2.10.1 Pengukuran Tahanan Isolasi

Pengukuran tahanan isolasi pemutus tenaga (PMT) ialah proses pengukuran dengan suatu alat ukur *Insulation Tester (megger)* dengan tegangan uji 5kV untuk memperoleh hasil (nilai/besaran) tahanan isolasi pemutus tenaga antara bagian yang diberi tegangan (fasa) terhadap badan (*case*) yang ditanahkan maupun antara terminal masukan (I/P terminal) dengan terminal keluaran (O/P terminal) pada fasa yang sama. Besar dari nilai tahanan isolasi pemutus tenaga (PMT) diharapkan mencapai nilai yang sebesar – besarnya.<sup>17</sup>

Tahanan isolasi merupakan keadaan dimana suatu peralatan memiliki nilai resistansi terhadap tegangan agar tidak terjadi *short circuit* atau kerusakan lainnya. Tahanan isolasi digunakan untuk mengetahui aman atau tidaknya suatu peralatan untuk diberi tegangan. Perlu diingat pula, bahwa pengukuran tahanan isolasi ini dilakukan pada saat peralatan tidak bertegangan atau padam.

Hal yang bisa mengakibatkan kerusakan alat ukur adalah bilamana alat ukur tersebut dipakai untuk mengukur obyek pada lokasi yang tegangan induksi listrik di sekitarnya sangat tinggi atau masih adanya muatan residual pada belitan atau kabel. Langkah untuk menetralkan tegangan induksi maupun muatan residual adalah dengan menghubungkan bagian tersebut ke tanah beberapa saat sehingga induksinya hilang.

Yang perlu diingat setelah melakukan pengukuran tahanan isolasi, jangan menyentuh titik ukur obyek pengukuran yang baru selesai diukur tahanan isolasinya. Hal ini akan mengakibatkan terjadinya aliran arus *discharge* yang melintas badan dan meskipun tidak berakibat fatal namun bisa menimbulkan tegangan kejut (dalam kV).

Untuk memahami tentang pengukuran tahanan isolasi, perlu mengetahui persamaan sederhana yaitu “Hukum Ohm” dimana:

---

<sup>17</sup> PT. PLN (Persero). 1987. *Standarisasi Peralatan Uji*. Perusahaan Umum Listrik Negara: Jakarta. Hlm. 23



$$V = I \times R \dots\dots\dots (2.1)^{18}$$

Keterangan:

V = Tegangan (Volt)

I = Kuat Arus (Ampere)

R = Tahanan (Ohm)

Semakin besar tegangan (voltase) yang kita miliki, maka semakin besar arus yang ada. Selain itu, semakin rendah resistansi yang ada, maka semakin besar arus yang di dapat dalam tegangan yang sama. Tegangan yang lebih tinggi cenderung menyebabkan arus lebih melebihi isolasi. Jumlah arus kecil yang didapat pada sebuah isolasi tentu saja tidak akan merusak isolasi yang baik, akan tetapi dapat menjadi masalah jika isolasi memburuk.

Pengujian tahanan isolasi ini bertujuan untuk mengetahui besar tahanan isolasi antara belitan dengan *ground* atau antara dua belitan, mengetahui secara dini kondisi dari isolasi pemutus tenaga dan kemungkinan adanya gangguan hubung singkat serta memastikan pemutus tenaga aman untuk beroperasi.

### 2.10.2 Pengukuran Tahanan Kontak <sup>19</sup>

Pengujian tahanan kontak dilakukan untuk mengetahui nilai resistansi pada pemutus tenaga (PMT). Rangkaian tenaga listrik sebagian besar terdiri dari banyak titik sambungan. Sambungan adalah dua atau lebih permukaan dari beberapa jenis konduktor bertemu secara fisik sehingga arus/energi listrik dapat disalurkan tanpa hambatan yang berarti. Pertemuan dari beberapa konduktor menyebabkan suatu hambatan/resistan terhadap arus yang melaluinya sehingga akan terjadi panas dan menjadikan kerugian teknis. Rugi ini sangat signifikan jika

---

<sup>18</sup> Fidianti, Novia. 2018. *Analisis Tahanan Isolasi Peralatan Utama Gardu Induk*. Universitas Negeri Jakarta: Jakarta

<sup>19</sup> PT. PLN (Persero). 1987. *Standarisasi Peralatan Uji*. Perusahaan Umum Listrik Negara: Jakarta. Hlm. 25



nilai tahanan kontaknya tinggi. Semakin kecil nilai tahanan kontak, maka akan semakin kecil rugi daya yang ditimbulkan.

Pengujian tahanan kontak sangat diperlukan agar dalam setiap periode pemeliharaan nilai tahanan kontaknya dapat diketahui, sehingga apabila nilainya tidak sesuai dengan acuan yang diizinkan bisa dilakukan perbaikan terhadap kontak PMT. Perbaikan dilaksanakan dengan melakukan pengecekan secara menyeluruh terhadap kontak PMT kemudian dilakukan uji ulang. Apabila nilai tahanan kontak masih dibawah standar yang diizinkan, maka perlu dilakukan pergantian PMT yang baru.

Ketentuan arus yang digunakan untuk mengukur besarnya tahanan kontak PMT yaitu: 100 A, 200 A, 300 A. Tegangan yang digunakan untuk mensuply alat ukur tahanan kontak PMT yaitu 220 volt AC. Adapun untuk melakukan pengukuran tahanan kontak ini sendiri menggunakan alat ukur Micro Ohm Meter merk DV Power

Sambungan antara konduktor dengan PMT atau peralatan lain merupakan tahanan kontak yang syarat tahananannya memenuhi kaidah Hukum Ohm sebagai berikut:

$$E = I \cdot R \dots \dots \dots (2.2)^{20}$$

Jika didapat kondisi tahanan kontak sebesar 1 Ohm dan arus yang mengalir adalah 100 Amp maka ruginya adalah:

$$P = I^2 \cdot R \dots \dots \dots (2.3)^{21}$$

$$W = 10.000 \text{ watts}$$

Prinsip dasarnya adalah sama dengan alat ukur tahanan murni (Rdc), tetapi pada tahanan kontak arus yang dialirkan lebih besar  $I = 100$  Amperemeter. Kondisi ini sangat signifikan jika jumlah sambungan konduktor pada salah satu jalur terdapat banyak sambungan sehingga kerugian teknis juga menjadi besar,

---

<sup>20</sup> *Ibid*, Hlm. 25

<sup>21</sup> *Ibid*



tetapi masalah ini dapat dikendalikan dengan cara menurunkan tahanan kontak dengan membuat dan memelihara nilai tahanan kontak sekecil mungkin. Jadi pemeliharaan tahanan kontak sangat diperlukan sehingga nilainya memenuhi syarat nilai tahanan kontak. Besarnya panas yang ditimbulkan akibat adanya tahanan yang besar sehingga terdapat celah (*gap*) yang panas dan akan menimbulkan busur api pada kontak dan membuat permukaan kontak rusak. Maka, perhitungan panas yang ditimbulkan tsb dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$W = I^2 \times R \times t \dots \dots \dots (2.4)$$

Dengan :

W = Energi Listrik (J)

I = Arus (Ampere)

R = Resistansi (Ohm)

Pada waktu terjadi pemutusan atau penghubungan suatu rangkaian sistem penyaluran tenaga listrik, maka akan terjadi gesekan antara kontak – kontak yang akan lepas atau berhubungan. Akibat adanya beda tegangan antara kontak – kontak tersebut, maka akan menimbulkan medan listrik. Terlebih lagi karena adanya beda tegangan yang tinggi, sehingga akan mengakibatkan panas dan menimbulkan busur api.

### 2.10.3 Pengukuran Kecerempakan (*Breaker Analyzer*)<sup>22</sup>

Pengukuran kecerempakan PMT dilakukan untuk mengetahui kecepatan kerja pemutus dan penyambungan kontak PMT (*breaking and making time*). Pengukuran dilakukan dengan menggunakan *Circuit Breaker Analyzer*. Pengukuran kecerempakan PMT menjadi salah satu hal yang penting karena bisa mengetahui ketiga pole PMT bekerja tidak serempak dalam memutuskan atau

---

<sup>22</sup> PT. PLN (Persero). 1987. *Standarisasi Peralatan Uji*. Perusahaan Umum Listrik Negara: Jakarta. Hlm. 27

menyambungkan daya listrik, maka akan terjadi ketidakseimbangan arus yang besar pada pole yang bekerja paling lambat sehingga dapat menyebabkan PMT tersebut meledak bila tidak mampu menahan arus. Standar waktu kerja PMT ini sendiri ditentukan oleh masing – masing pabrikan. Tujuan dari pengujian ini sendiri untuk mengetahui waktu kerja PMT secara individu serta untuk mengetahui keserempakan PMT saat menutup maupun membuka dengan satuan yang dipakai yaitu mili sekon (ms).

Kemudian untuk keserempakan kontak dapat dihitung dengan membandingkan selisih nilai tertinggi dengan nilai terendah. Berdasarkan standar yang telah ditetapkan selisih waktu yang diizinkan adalah <10 mili sekon.

$$\Delta t = t_{\text{maks}} - t_{\text{min}} \dots \dots \dots (2.5)^{23}$$

Dengan:

$\Delta t$  = selisih waktu

$t_{\text{maks}}$  = waktu tertinggi

$t_{\text{min}}$  = waktu terendah

Berdasarkan cara kerja penggerak, maka PMT dapat dibedakan atas jenis *three pole* (penggerak PMT tiga fasa) dan *single pole* (penggerak PMT satu fasa). Untuk T/L bay biasanya PMT menggunakan jenis *single pole* dengan maksud PMT tersebut dapat trip satu fasa apabila terjadi gangguan satu fasa ke tanah dan dapat *reclose* satu fasa yang biasa disebut SPAR (*Single Pole Auto Reclose*). Namun apabila gangguan pada penghantar fasa – fasa maupun tiga fasa, maka PMT tersebut harus trip 3 fasa secara serempak. Apabila PMT tidak trip secara serempak, maka akan menyebabkan gangguan. Untuk itu biasanya terakhirnya ada sistem proteksi yang namanya *discrepancy relai* yang memberikan order trip kepada ketiga PMT fasa R, S dan T.

---

<sup>23</sup> Pranomo, I. 2019, *Analisis Pengujian Pemutus Tenaga Bay Gondong 2 Dalam Pemeliharaan 2 Tahunan Di Gardu Induk Palur*. (Skripsi Yang Tidak Dipublikasikan, Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2019)





Hal yang sama juga untuk proses menutup PMT, maka yang tipe *single pole* ataupun *three pole* harus menutup secara serentak pada fasa R, S, T, karena jika terdapat gangguan, maka sistem proteksi akan bekerja dan memerintahkan PMT untuk trip sehingga mencegah gangguan yang meluas.

## 2.11 Standar atau Acuan Pengujian

Standar ini mengatakan satu kesatuan dengan SPLN 69-1 : 1986 : “Standardisasi Peralatan Uji, Bagian Satu: Komisioning Instalasi dan Pengujian Peralatan”. Standar ini sebagai petunjuk bagi pelaksana, untuk mengetahui spesifikasi alat uji yang akan dipakai dalam melaksanakan tugas komisioning maupun pengujian peralatan.

### 2.11.1 Standar Pengujian Tahanan Isolasi<sup>24</sup>

Standard: KEPDIR 0520-2.K.DIR.2014 (Buku Pedoman Pemutus Tenaga Final) Tahanan Isolasi pada PMT 20kV sendiri memiliki standard pengujian. Batasan tahanan isolasi PMT sesuai Buku Pemeliharaan Peralatan SE.032/PST/1984 dan menurut standard VDE (catalogue 228/4) *minimum* besarnya tahanan isolasi pada suhu operasi dihitung “1 kilo Volt = 1 MΩ”. Dengan catatan 1kV besarnya tegangan fasa terjadap tanah, kebocoran arus yang diizinkan setiap kV = 1 mA. Semakin besar nilai tahanan isolasinya, maka akan semakin baik. Jika nilai tahanan isolasinya rendah ditakutkan akan adanya kegagalan isolasi pada pemutus tenaga, maka selanjutnya dilakukan pengujian lebih lanjut hingga nilai tahanan isolasi pada pemutus tenaga dikatakan baik.

---

<sup>24</sup> PT. PLN (Persero). 2014. *Buku Pedoman PMT Final*. Hlm. 64

Tabel 2.1 Standar Minimum Tahanan Isolasi

No.	Hasil Uji	Rekomendasi
1	$\geq 1$ Mohm / 1 kV	Normal
2	$< 1$ Mohm / 1 kV	Lakukan Pengujian Lebih Lanjut

### 2.11.2 Standar Pengujian Tahanan Kontak<sup>25</sup>

Nilai tahanan kontak PMT yang normal (acuan awal) harus disesuaikan dengan petunjuk/manual dari masing – masing pabrikan PMT (dikarenakan nilai ini dapat berbeda antar merk), nilai standar normal yang menjadi acuan yaitu  $\leq 120\%$  nilai pabrikan atau Nilai Pengujian FAT, nilai saat pengujian komisioning. Berikut terlampir daftar nilai standar pabrikan beberapa PMT:

Tabel 2.2 Nilai Tahanan Kontak Acuan Pabrikan

MERK	Tipe PMT	Data Teknis	Resistansi Kontak Utama
ALSTHOM	FX11	72.5 kV, Hydraulic, CI mechanism	50 $\mu\Omega$
ALSTHOM	FX2	170 kV, Hydraulic, CIN mechanism	50 $\mu\Omega$
ALSTHOM	FX22 or FX22D	550 kV, Hydraulic, CIN mechanism	40 $\mu\Omega$
ALSTHOM	FX32 or FX32D	550 kV, Hydraulic, CIN mechanism	40 $\mu\Omega$
ALSTHOM	FXT9	72.5 kV, spring	50 $\mu\Omega$
ALSTOM	GL309 F1	72.5 kV, spring	40 $\mu\Omega$
ALSTOM	GL313 F1	170 kV, spring	40 $\mu\Omega$
ALSTOM	GL313 F3	170 kV, spring	40 $\mu\Omega$

<sup>25</sup> Ibid

ABB	S1 – 170 F1	170 kV, spring	50 $\mu\Omega$
ABB	S1 – 170 F3	170 kV, spring	50 $\mu\Omega$
ALSTOM	GL314	245 kV, spring	52 $\mu\Omega$
ALSTOM	GL317 or GL317D	550 kV, spring 2 chambers	95 $\mu\Omega$

Untuk PMT yang tidak memiliki data awal seperti PMT AREVA penyulang Kuda ini, maka dapat menggunakan nilai standar tipe sejenis atau nilai pengukuran terendah PMT tersebut yang mengacu pada history pemeliharaan (trend 3 kali periode pemeliharaan sebelumnya).

PMT AREVA penyulang Kuda ini standarnya sejenis dengan PMT ALSTHOM FXT9 dimana standar dari PMT tersebut yaitu  $<50 \mu\Omega$  (terlampir pada form hasil pengujian). Menjadi catatan pula, apabila hasil pengujian tidak sesuai/memenuhi standar, maka pengujian tahanan kontakannya dapat dilakukan kembali setelah dilakukan perbaikan sampai kondisi PMT baik dan bekerja secara optimal.

### 2.11.3 Standar Pengujian Keserempakan Pergerakan Kontak<sup>26</sup>

Kecepatan kontak PMT membuka dan atau menutup harus disesuaikan dengan referensi/acuan dari masing-masing pabrikan PMT (dikarenakan nilai ini dapat berbeda antar merk). Nilai-nilai referensi pengukuran waktu buka dan waktu tutup yaitu  $\leq 110\%$  berdasarkan nilai acuan dari beberapa pabrikan. Adapun batasan waktu buka dan tutup pada PMT AREVA yang kita uji ini yaitu:

- Buka ( $38 \pm 10\%$ ) ms
- Tutup ( $70 \pm 10\%$ ) ms

---

<sup>26</sup> PT. PLN (Persero), 2014, *Buku Pedoman PMT Final*, Hlm. 71



Toleransi perbedaan waktu pada pengujian keserempakan kontak PMT yang terjadi antar fasa R, S dan T pada waktu PMT beroperasi (*Open/Close*) ditentukan dengan melihat nilai  $\Delta t$  yang merupakan selisih waktu tertinggi dan terendah antar fasa R, S dan T. Pada pengujian ini, semakin kecil nilainya, maka pergerakan kontak PMT semakin serempak begitu juga sebaliknya. Sehingga, *delta time* yang dihasilkan juga semakin kecil. Apabila *delta time* melebihi dari standar, maka dilakukan pengujian ulang hingga pergerakan kontak PMT kembali normal.